

УДК 330.4, 338.2, 519.2

## РОЗВИТОК ПРОЦЕДУР АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НЕДЕТЕРМІНОВАНИХ ТЕХНОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ПОКАЗНИКІВ ХАОТИЧНОЇ ДИНАМІКИ

В.В. Скалозуб, д.т.н., професор

І.В. Клименко

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна,  
Дніпро, Україна*

*Скалозуб В.В., Клименко І.В. Розвиток процедур аналізу та прогнозування недетермінованих технологічно-економічних процесів на основі показників хаотичної динаміки.*

В роботі отримали розвиток методи і процедури аналізу та інтерпретації процесів, представлених антиперсистентними часовими рядами. Запропонована класифікація таких рядів. На основі узагальнення послідовних рівнів ряду побудована процедура класифікації. Наведені приклади класифікації часових рядів для процесів формування залізничних вагонопотоків.

*Ключові слова:* антиперсистентні часові ряди, хаотична динаміка, показник Херста, класифікація, залізничні вагонопотоки

*Скалозуб В.В., Клименко И.В. Развитие процедур анализа и прогнозирования недетерминированных технологическо-экономических процессов на основе показателей хаотичной динамики.*

В работе получили развитие методы и процедуры анализа интерпретации процессов представленных антиперсистентными временными рядами. Предложена классификация подобных рядов. На основе обобщения последовательных уровней ряда построена процедура классификации. Приведены примеры классификации временных рядов для процессов формирования железнодорожных вагонопотоков.

*Ключевые слова:* антиперсистентные временные ряды, хаотическая динамика, показатель Херста, классификация, железнодорожные вагонопотоки

*Skalozub V.V., Klymenko I.V. The development of analysis and forecasting procedures of non-deterministic technological and economic processes on the basis of indicators of chaotic dynamics.*

In this article are provided the development of methods and procedures of analysis of interpretation of processes of that are represented by anti-persistent time series. Classification of such series is proposed. Classification procedure is built on the basis of generalization successive levels of series. Examples of classification of time series for the processes of formation of railway traffic volumes are listed.

*Keywords:* anti-persistent time series, chaotic dynamics, Hurst's indicator, classification, railway traffic volumes

Для практики аналізу та планування процесів як антиперсистентних часових рядів (ЧР), визначених на основі константи Х. Херста, крім їх категорії також бажано встановлювати деякі додаткові характеристики, що дають можливість виконувати порівняння та класифікацію процесів, визначати певні узагальнені кількісні показники тощо. У більшості доступних досліджень цієї сфери таким питанням приділено недостатньо уваги. Саме звернення до завдань із класифікації та оцінки значень достовірних показників таких ЧР, а також можливостей їх практичної інтерпретації, визначає відмінність та актуальність представленого дослідження.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Значна кількість різноманітних недетермінованих природних явищ, процесів у складних технологічно-економічних, фінансових та ін. системах не мають математичних моделей, представляються часовими послідовностями, рядами спостережень різної природи [1, 2]. Для реалізації ефективних процедур ідентифікації, аналізу та планування відповідних технологічних, фінансово-економічних, виробничих процесів необхідно враховувати можливості зміни, прогнозувати очікувані значення вимірюваних або розрахункових параметрів, рівні часових рядів (ЧР). Моделям і методам таких категорій завдань присвячено велику кількість досліджень [2-4]. Серед них виділимо методи хаотичної динаміки, які використовують розрахунки константи Х. Херста (Harold Hurst) [5, 6]. При цьому визначаються глибинні властивості таких процесів. А саме їх випадковість (В), трендостійкість (персистентність (П)), повернення до середнього (антиперсистентність (А)). Ці властивості також дозволяють обґрунтувати адекватні математичні методи оцінки характеристик ЧР та застосування відповідних процедур щодо реалізації та інтерпретації даних таких процесів.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

У статті досліджуються деякі можливості удосконалення процедур хаотичної динаміки, що базуються на використанні оцінок показника Х. Херста (Н-Н). Сутність та відмінність постановок завдань дослідження полягає у наступному. В переважному числі робіт аналіз базових властивостей ЧР полягає лише у визначенні властивостей (В/П/А) саме показника Н-Н ( $< 0,5$ ,  $= 0,5$ ,  $> 0,5$  тощо), виборі параметрів моделі Х. Херста ( $a=0,5$ ,  $a=\pi/2$  ін.).

$$H = \frac{\log(R/S)}{\log(a * N)}, \quad (1)$$

де Н – показник Херста;

S – середнє квадратичне відхилення ряду спостережень;

R – розмах накопиченого відхилення;

N – число періодів спостережень;

a – задана константа.

На основі дослідження [2, 5] було доведено, що для коротких ЧР краще застосовувати значення константи  $a=\pi/2$ . Це дозволяє з більшою

достовірністю стверджувати що персистентний ЧР ( $H > 0,5$ ) дійсно має пам'ять.

Разом з цим для практики інтерпретації та планування процесів, поданих ЧР, бажано встановити їх деякі додаткові характеристики, що дають можливість також диференціювати ЧР між собою, встановлювати узагальнені кількісні показники. У статті порушуються питання стосовно отримання подальших рекомендацій із аналізу та планування антиперсистентних ЧР (АЧР) з використанням запропонованої процедури узагальнення рівнів та перетворення вихідного ЧР (ПУРАЧР), з подальшим дослідженням його властивостей на основі моделі (1) (рис. 1, приклад структури на початку ЧР).

На основі процедури ПУРАЧР вирішуються такі ключові питання.

1. Класифікація антиперсистентних ЧР.

2. Кількісна інтерпретація результатів класифікації стосовно можливості прогнозування оцінок параметрів, аналізу та планування досліджуваних процесів.

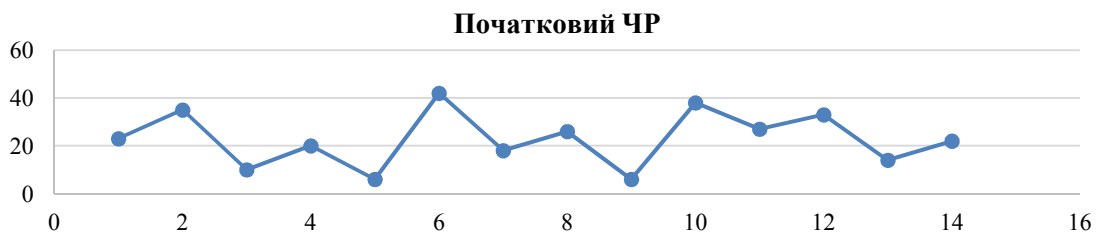


Рис. 1. Приклад АЧР,  $H=0,344$   
Джерело: Власна розробка автора

Для побудови класифікації АЧР пропонується наступна процедура перетворення ЧР шляхом узагальнення (вирівнювання) їх розташованих поруч рівнів. Відповідно процедури на основі вихідного АЧР формується серія нових,  $k = 2, 3, 4, 5, \dots$ . В серії  $ЧР_i(k)$  параметр k вказує кількість послідовно розташованих рівнів ряду, які використовуються для побудови одного чергового рівня перетвореного ряду (як середнього значення рівнів k) на етапі аналізу i. Тобто i – номер етапу процедури ПУРАЧР по утворенню та дослідженню перетворених  $ЧР_i(k)$  на основі моделі (1).

На наступному  $i+1$  етапі таж сама процедура ПУРАЧР застосовується до нових, утворених на попередніх етапах  $ЧР_i(k)$  (рис. 2-рис. 4).

Побудова серій  $ЧР_i(k)$  припиняється, якщо для деякого k відповідний  $ЧР_i(k)$  стане персистентним відповідно (1) (рис. 4).

Іншою, подібною, формою закінчення процедури ПУРАЧР являється виконання вимоги щодо рівнів констант Х. Херста на етапі i  $H(ЧР_i(k)) > H^*$ . Якщо умова зупинки серії виконується для кількох узагальнених рівнів k, тоді вважається що АЧР відноситься до класу з меншим k (при близьких значеннях  $H(ЧР_i(k))$ ).

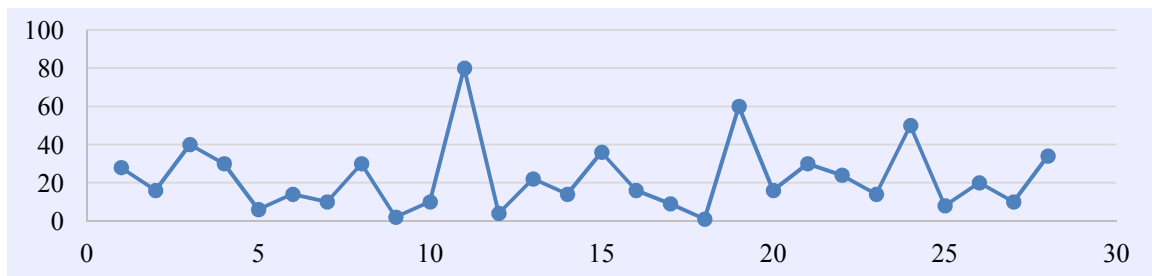


Рис. 2. ЧР отриманий в результаті застосування процедури ПУРАЧР ( $ЧР_1(2)$ ),  $H=0,324$   
Джерело: Власна розробка автора

Рис. 2, демонструє нетривіальний характер процедури узагальнення ПУРАЧР, наприклад, через зменшення значення константи Х. Херста  $H$  при узагальненні по  $k=2$ , поданому на рис. 2., у порівнянні з рис. 1.

Іншою, подібною, формою закінчення процедури ПУРАЧР являється виконання вимоги

щодо рівнів констант  $X$ . Херста на етапі  $i$   $H(ЧР_i(k)) > H^*$ . Якщо умова зупинки серії виконується для кількох узагальнених рівнів  $k$ , тоді вважається що АЧР відноситься до класу з меншим  $k$  (при близьких значеннях  $H(ЧР_i(k))$ ).

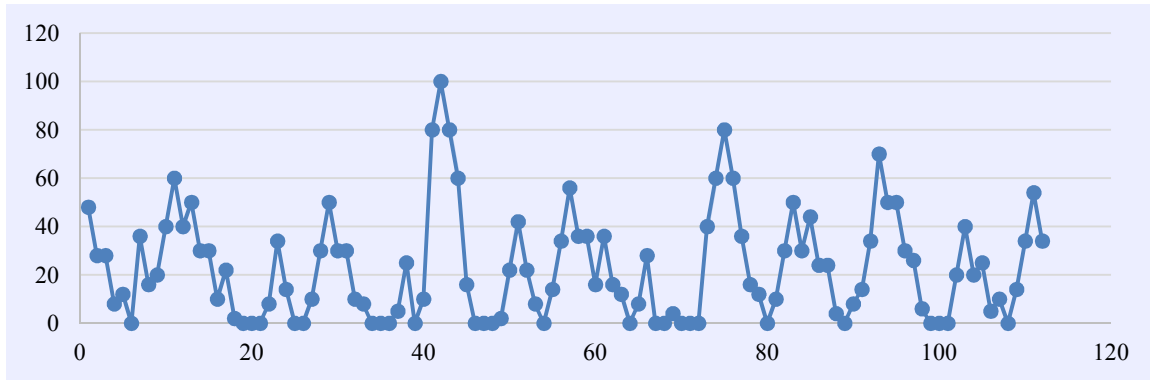


Рис. 3. ЧР отриманий в результаті застосування процедури ПУРАЧР ( $ЧР_3(2)$ ),  $H=0,475$   
Джерело: Власна розробка автора

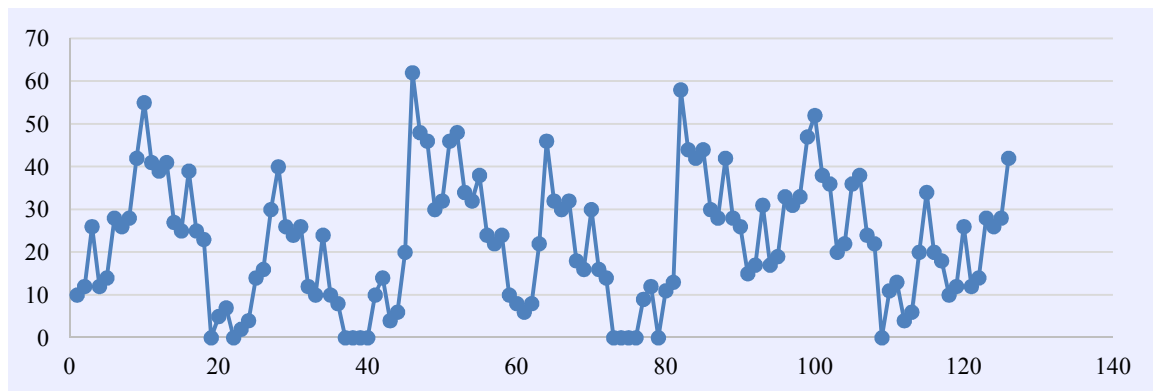


Рис. 4.  $ЧР_2(3)$ ,  $H=0,5788$   
Джерело: Власна розробка автора

Початковий АЧР (рис. 1) через процедуру ПУРАЧР став персистентним уже на 2-му етапі узагальнення 3-х рівнів (рис. 4). В той же час,  $ЧР_3(2)$  (рис. 2 – рис. 3) має значення показника Херста менше, ніж  $ЧР_2(3)$ , і стане персистентним лише на 5-му етапі. Відповідно, процедура ПУРАЧР вважається завершеною, а АЧР ( $ЧР_2(3)$ ,  $H=0,5788$ ) можна віднести до 3-го класу. З практичної точки зору такий результат можливо інтерпретувати таким чином. Природа представлених процесів (рис. 1) дозволяє «достовірно» оцінювати і оперувати трьох кроковими величинами показників, що необхідно враховувати при виконанні їх аналізу, плануванні та прогнозуванні (наприклад, на основі моделей трендів).

Окрім визначення персистентності чи антиперсистентності ЧР, показник Херста надає можливість оцінити середню довжину циклу – інтервал протягом якого ЧР зберігає пам'ять про початкові умови. Більш того, якщо  $0 < H < 1$ , і не

дорівнює 0,5 то ЧР є фракталом, а реальний процес або явище, що характеризує такий ЧР має фрактальну природу. Фрактальна розмірність кривої дорівнює 1,0, а фрактальна розмірність геометричної площини рівна 2,0. Фрактальна розмірність ( $D$ ) обчислюється по формулі [2, 5]:

$$D = 2 - H \tag{2}$$

Ще однією фрактальною характеристикою ЧР може виступати фрактальна розмірність простору ймовірностей,  $1 \leq A \leq 2$ , обчислюється за формулою [5]:

$$A = 1 / H \tag{3}$$

Варто відзначити, що навіть незначна зміна величини  $A$  суттєво змінює характеристики ЧР.

Розглянемо наведені питання докладно, використовуючи конкретні ЧР, отримані у сфері реалізації вантажних залізничних перевезень. На рис. 5, представлений процес формування вагонопотоку на залізничній станції що характеризується ЧР.

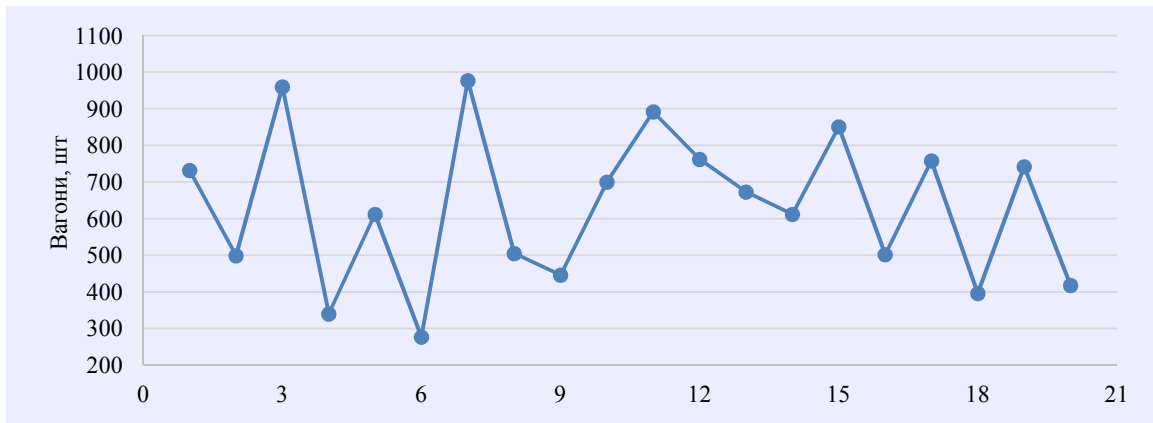


Рис. 5. Вагонопотік по станції у вигляді ЧР  
Джерело: Власна розробка автора

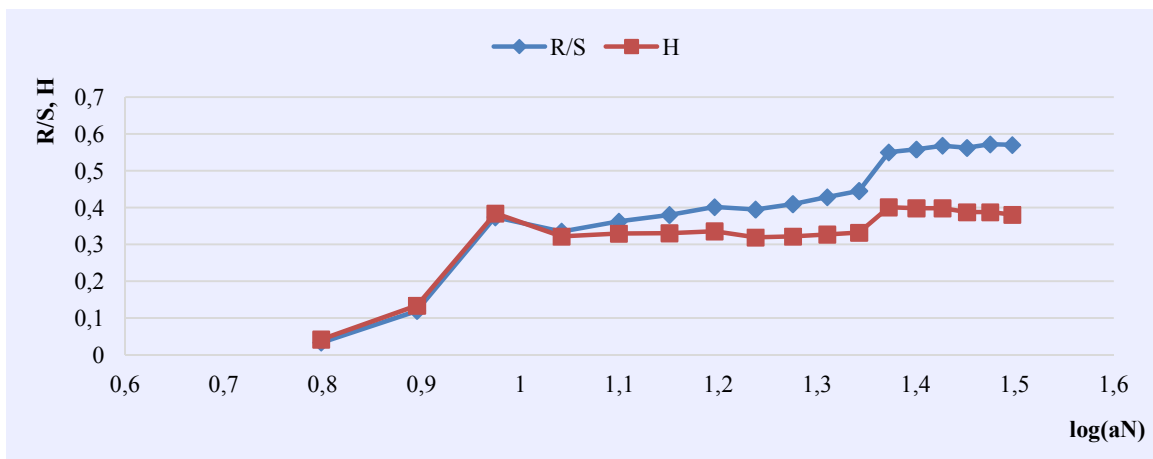


Рис. 6. Значення R/S та H для кожного рівня ЧР  
Джерело: Власна розробка автора

Обчислений показник Х. Херста (рис. 6),  $H = 0,367$ , що свідчить про наявність антиперсистентних властивостей в такому ЧР. Фрактальна розмірність (D) та розмірність простору ймовірностей (A) наведеного АЧР

складає 1,633 та 1,96 відповідно, а значить процес вагонопотоку має фрактальну природу [2, 5, 6].

В результаті застосування процедури ПУРАЧР для наведеного ряду визначено клас АЧР відноситься до 2-го класу (рис. 7).

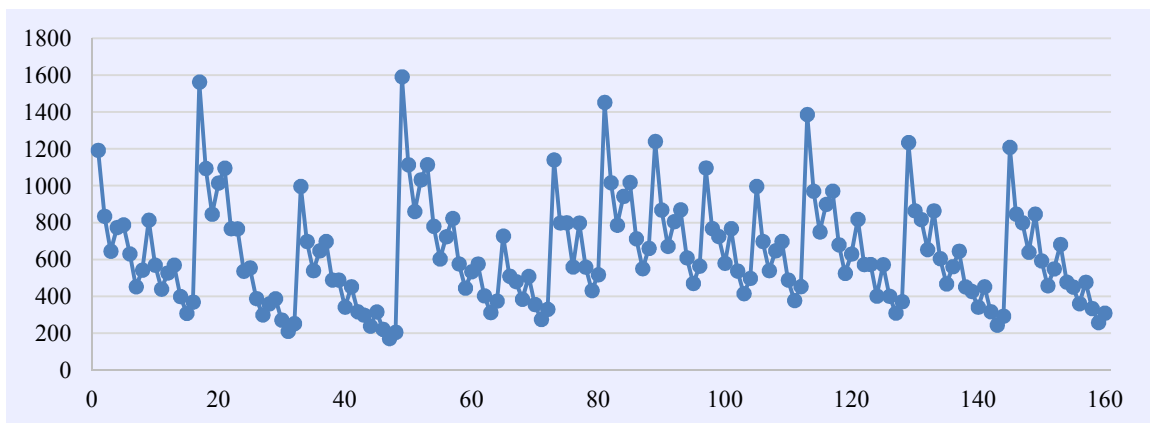


Рис. 7. ЧР<sub>3</sub>(2),  $H=0,5988$   
Джерело: Власна розробка автора

Таким чином, у дослідженні виявлено, що часові ряди запропонованих серій ЧР<sub>i</sub>(k) порізному переходять до категорії персистентних,

тобто узагальнення їх по k рівням дозволяє виділити відповідні окремі «класи АЧР». Ця властивість являється підставою для інтерпретації

та прогнозування кількісних характеристик вихідних АЧР. Зрозуміло, що до отриманих  $ЧР_i(k)$  у подальшому можливо застосовувати моделі і методи аналізу і прогнозування на основі побудови трендів [3, 6]. Отримані при цьому числові результати дозволяють достовірно прогнозувати показники процесів на інтервал, що відповідає класу узагальнення  $k$  (рис. 4 та рис. 7).

### Висновки

Дослідження АЧР стосовно процедур узагальнення їх рівнів, реалізованих у ПУРАЧР, показали їх неоднорідність, що дає можливість проводити класифікацію таких послідовностей. Визначені при цьому класи АЧР являються

підставою для формування моделей трендів та інтерпретації узагальнених рівнів. На підставі наведеного можна сформулювати деякий принцип невизначеності хаотичного ряду, який встановлює можливість достовірного аналізу та прогнозування значень показників лише для певного інтервалу  $k$ , величина якого обумовлена властивостями АЧР. Наведені результати, докладно подані кроки узагальнення, використовуючи конкретні ЧР, отримані у сфері реалізації вантажних залізничних перевезень, дають підстави для планування відповідних чинників утворення вагонопотоків.

### Abstract

As part of the research was proposed procedure of classification of anti-persistent time series based on the calculation and analysis of H. Hurst's indicator and fractal characteristics: fractal dimension (D), the dimension of space probability (A). As a result, the development of procedures of analysis and forecasting of non-deterministic technologic-economic processes that are introducing by anti-persistent time series is presented. Procedure of classifications of such series based on the aggregation of consecutive levels that is based on calculations of Hurst's indicator and fractal (R/S) analysis. Provide the examples of implementation of the procedure of classification and planning of the processes that characterize the generation of railway traffic volumes. The proposed approach can be used under conditions of uncertainty, irregularities, chaotic nature demonstration of technical, economic and other processes, including transportation processes of railway transport.

*JEL Classification: C53, M30.*

### Список літератури:

1. Скалозуб В.В., Клименко И.В. Обобщенная модель логистического отображения для анализа и интерпретации свойств временных рядов процессов управления // Тез. докл. Научно-практической конференции «Економічна кібернетика: реалії часу», Днепропетровск, 2012. С. 125-129.
2. Эрик Найман. Расчет показателя Херста с целью выявления трендовости (персистентности) финансовых рынков [*Электронный ресурс*]: (Статья). // Э. Найман. 2010. – Режим доступа: [http://www.capital-times.com.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=11623&Itemid=88888963](http://www.capital-times.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=11623&Itemid=88888963).
3. Тимохин В.Н. Методология моделирования экономической динамики: монография / В.Н. Тимохин / [Научн. ред. проф. Ю.Г. Лысенко]. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2007. – 269 с.
4. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории Хаоса в инвестициях и экономике [Текст] / Э. Петерс. – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
5. Кузнецов С.Б., Гладковский О.П. Фрактальный анализ котировок ВТБ/ [*Электронный ресурс*]: Режим доступа: <http://cprsob.ru/load/14-1-0-53>.
6. Mandziuk, J. Chaotic time series prediction with feed-forward and recurrent neural nets / J. Mandziuk, R. Mikolajczak // Control and Cybernetics. – 2002. – № 2. – P. 383-406.

### References:

1. Skalozub, V.V., & Klymenko, I.V. (2012). Generalized model of logistic mapping for analysis and interpretation of the historical series of management processes. Tezisy dokladov nauchno-praktycheskoi konferentsii «Ekonomichna kibernetika: realii chasu». (Abstracts of Papers of Sci. and Practical Conf. "Economic Cybernetics: Time realities"), 125-129 [in Russian].
2. Naman, E. (2010) The calculation of the Hurst exponent to identify trendiness (persistence) of financial markets Retrieved from [http://www.capital-times.com.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=11623&Itemid=88888963](http://www.capital-times.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=11623&Itemid=88888963) [in Russian].

3. Timokhin, V.N. (2007). Modeling methodology of economic dynamics. Donetsk: Yugo-Vostok Ltd.
4. Peters, E. (2004). Fractal analysis of financial markets. Application of the theory of chaos in investments and the economy. Moscow: Internet-trading [in Russian].
5. Kuznetsov, S.B., & Gladkovskij, O.P. (2010). Fractal analysis of VTB quotes. Retrieved from: <http://cprsob.ru/load/14-1-0-53> [in Russian].
6. Mandziuk, J., & Mikolajczak, R. (2002). Chaotic time series prediction with feed-forward and recurrent neural nets. Control and Cybernetics, 31(2), 383-406.

Надано до редакційної колегії 11.08.2016

Скалозуб Владислав Васильович / Vladislav V. Skalozub  
[skalozub\\_vl\\_v@mail.ru](mailto:skalozub_vl_v@mail.ru)

Клименко Іван Вікторович / Ivan V. Klymenko  
[vanya\\_tk@mail.ru](mailto:vanya_tk@mail.ru)

***Посилання на статтю / Reference a Journal Article:***

*Розвиток процедур аналізу та прогнозування недетермінованих технологічно-економічних процесів на основі показників хаотичної динаміки [Електронний ресурс] / В. В. Скалозуб, І. В. Клименко // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2016. – № 4 (26). – С. 149-154. – Режим доступу до журн.: <http://economics.opi.ua/files/archive/2016/n4.html>*